

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-291895

(43)Date of publication of application : 19.10.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 2000-104919

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 06.04.2000

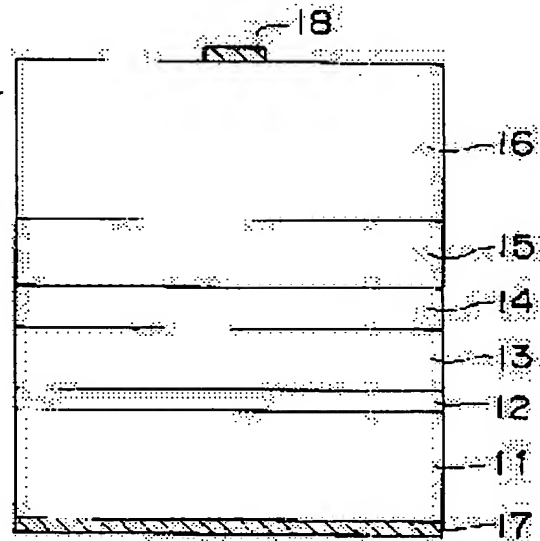
(72)Inventor : HOSOBANE HIROYUKI
NAKATSU HIROSHI
KURAHASHI TAKANAO
MURAKAMI TETSURO

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce a manufacturing cost, to improve crystallinity of a current diffusion layer, and to improve light-emission efficiency.

SOLUTION: A lattice strain relaxing layer 12, a clad layer 13, an active layer 14, and a clad layer 15 are formed with InAlGaP on an n-GaP substrate 11 which is transparent to InAlGaP semiconductor element radiation light. An $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ current diffusion layer 16 whose In composition ratio x ($0 < x < 1$) is formed at a top layer. Thus, a rough depth on the crystal surface is reduced, resulting in reduced crystal defect density. The energy gap of the current diffusion layer 16 is made larger than that of the active layer 14 while the GaP substrate 11 and the InGaP current diffusion layer 16 at the top layer are made transparent to the radiation light from the InAlGaP active layer 14, for raised light-emission efficiency. Further, layers are just sequentially formed, starting with the lattice strain relaxing layer 12 up to the current diffusion layer 16, on the n-GaP substrate 11 for reduced manufacturing cost.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.01.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-291895
(P2001-291895A)

(43) 公開日 平成13年10月19日 (2001. 10. 19)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

テーマコード(参考)
B 5 F 0 4 1
C

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-104919(P2000-104919)

(22) 出願日 平成12年4月6日(2000. 4. 6)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 細羽 弘之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 中津 弘志

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74) 代理人 100062144

弁理士 青山 稜 (外1名)

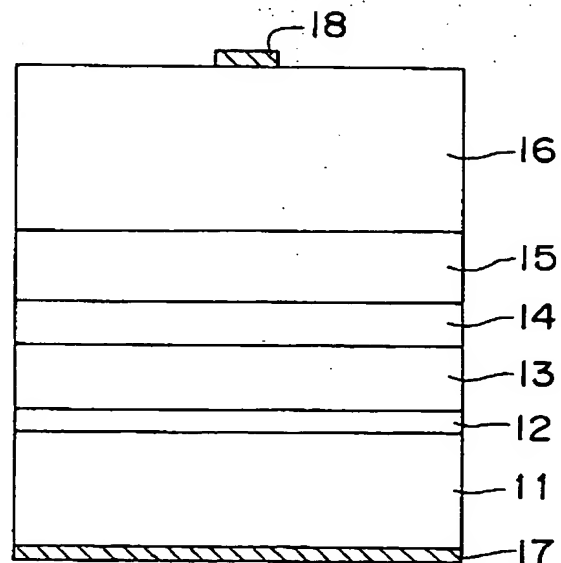
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 製造コストを低減し、電流拡散層の結晶性を良好にし、発光効率を改善する。

【解決手段】 InAlGaP系半導体素子放射光に透明なn-GaP基板11上に、InAlGaPによって格子歪緩和層12、クラッド層13、活性層14及びクラッド層15を形成する。最上層にIn組成比xが($0 < x < 1$)のIn_xGa_{1-x}P電流拡散層16を形成する。こうして、結晶表面の凹凸深さを低減し、結晶欠陥密度を減少させる。また、電流拡散層16のエネルギーギャップを、活性層14のエネルギーギャップよりも大きくして、GaP基板11と最上層のInGaP電流拡散層16とをInAlGaP活性層14からの放射光に対して透明にして発光効率を高める。また、n-GaP基板11上に格子歪緩和層12から電流拡散層16までを順次形成するだけであるから製造コストを低減できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaP基板上に、少なくとも活性層およびクラッド層から成る発光部と電流拡散層とが形成されて成る半導体発光素子において、

上記電流拡散層は、Inの組成比をxとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 GaP基板上に、少なくとも活性層およびクラッド層から成る発光部と電流拡散層とが形成されて成る半導体発光素子において、

上記電流拡散層は、Inの組成比をxとし、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の半導体発光素子において、

上記GaP基板の面方位が、(100)面から[011]方向に傾斜していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】 請求項3に記載の半導体発光素子において、

上記GaP基板の面方位は、(100)面から[011]方向に2度以上且つ20度以下の範囲で傾斜していることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記電流拡散層のエネルギーギャップは、上記活性層のエネルギーギャップよりも大きいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項7】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Alの組成比をxとして、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項8】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Inの組成比をxとしAsの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項10】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Alの組成比をxとしAsの組成比をyとして、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項11】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部は、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】 請求項1乃至請求項11の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記発光部と電流拡散層との間に、電流阻止層を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項13】 請求項12に記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層のエネルギーギャップは、上記活性層のエネルギーギャップよりも大きいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項14】 請求項12または請求項13に記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層は、上記発光部と電流拡散層との境界面における中央部に配置されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項15】 請求項12または請求項13に記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層は、上記発光部と電流拡散層との境界面における周辺部に配置されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項16】 請求項12乃至請求項15の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層は、GaPによって形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項17】 請求項12乃至請求項15の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層は、Inの組成比をxとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)によって形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項18】 請求項12乃至請求項15の何れか一つに記載の半導体発光素子において、

上記電流阻止層は、Inの組成比をxとし、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 \leq y \leq 1$)によって形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、GaP基板上に形成されたAlGaInP系化合物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】AlGaInP系半導体材料を用いた半導体素子は、GaAs基板と格子整合が可能であることと、

III-V族化合物半導体の中で最も直接遷移バンドギャップが大きいことから、可視領域の発光素子として用いられている。特に、発光ダイオードとして550nmから690nmまでの範囲内で直接遷移型の発光を行うため、高い発光効率を得ることができる。しかしながら、GaAs基板を使用した場合には、放射光に対して透明ではなく光吸収層となるため、面発光型AlGaInP系半導体素子の場合には高輝度化が達成できないという問題がある。

【0003】これに対して、上記GaAs基板ではなく、AlGaInP系半導体素子放射光に対して透明なGaP基板上にAlGaInP系半導体発光素子を設けた構造が提案されている(例えば、特許公報第2714885号)。

【0004】以下に、この上記GaP基板上に形成されたAlGaInP系半導体発光素子について、図10に従って説明する。GaP基板上に形成されたAlGaInP系半導体発光素子は、次のようにして形成される。

【0005】先ず、図10(a)に示すように、GaAs基板1上に、AlGaInPクラッド層2、AlGaInP活性層3及びAlGaInPクラッド層4を、順次MOCVD(有機金属気相成長)法によって成長する。次に、図10(b)に示すように、yo-yo溶質供給法や温度差法によるLPE(液層エピタキシャル成長)法によってGaP層5を成長する。次に、図10(c)に示すように、光吸収層となるGaAs基板1を除去する。そして、図10(d)に示すように、GaAs基板1が除去された後のAlGaInPクラッド層2上に、yo-yo溶質供給法や温度差法によるLPE法によってGaP電流拡散層6を成長する。こうして、GaP層5を基板とし、その上にAlGaInP系半導体発光素子が形成されるのである。

【0006】図10に示すようなGaP基板上に形成されたAlGaInP系半導体発光素子では、GaP電流拡散層6によって電流が広がり、広い範囲の活性層3で発光するために、発光効率が向上する。また、GaP層5およびGaP電流拡散層6はAlGaInP活性層3よりもバンドギャップが大きいので、発光した光は吸収されることなく透過し、高い発光効率を得ることができるのである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来のGaP基板上に形成されたAlGaInP系半導体発光素子においては、以下のような問題がある。すなわち、上記AlGaInP系半導体発光素子製造工程は、第1の工程でGaAs基板1上にAlGaInP系発光部2, 3, 4を形成し、次に、第2の工程でその上にGaP層5をyo-yo溶質供給法や温度差法によるLPE法によって形成した後、第3の工程でGaAs基板1をエッチングによって除去し、さらに、第4の工程でGaP電流拡散層6をyo-yo溶質供給法や温度差法によるLPE法によって形成するという、4つの工程を経て形成される。したがっ

て、製造コストが大幅に増加するという問題がある。

【0008】さらに、上記GaAs基板1は成長中に使用された後除去されるため、更に製造コストを増加させる一因となっている。

【0009】そこで、上記GaAs基板1の除去を避けるため、GaP基板上に直接AlGaInP系発光部およびGaP電流拡散層をMOCVD法によって成長することを発明者らは試行してみた。その場合には一回の成長工程で作製でき、GaAs基板が不要であるため、製造コストは大幅に抑制できる。ところが、GaP基板上に格子不整合が存在するAlGaInP系発光部を成長し、更にその上に格子不整合が存在するGaP電流拡散層を成長するため、GaP電流拡散層の結晶性が低下し、表面上に凹凸が発生したり、結晶欠陥が多数発生することが判明した。

【0010】そこで、この発明の目的は、製造コストを大幅に低減し、良好な結晶性の電流拡散層を有し、発光効率を大幅に改善できる半導体発光素子を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、第1の発明は、GaP基板上に、少なくとも活性層およびクラッド層から成る発光部と電流拡散層とが形成されて成る半導体発光素子において、上記電流拡散層は、Inの組成比をxとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)で形成されていることを特徴としている。

【0012】上記構成によれば、最上層に形成される $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ 電流拡散層のIn組成比xは($0 < x < 1$)である。したがって、結晶表面の凹凸深さが大幅に低減され、結晶欠陥密度が大幅に減少されて、結晶性の良好な電流拡散層が得られる。さらに、上記電流拡散層として $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ を用いているので、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。さらに、GaP基板上に各層を順次形成するだけで形成でき、製造コストが低減される。

【0013】また、第2の発明は、GaP基板上に、少なくとも活性層およびクラッド層から成る発光部と電流拡散層とが形成されて成る半導体発光素子において、上記電流拡散層は、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)で形成されていることを特徴としている。

【0014】上記構成によれば、最上層に形成される $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 電流拡散層のIn組成比xは($0 < x < 1$)である。したがって、結晶表面の凹凸の深さが大幅に低減され、結晶欠陥密度が大幅に減少されて、結晶性が良好な電流拡散層が得られる。さらに、結晶性向上のためにInの組成比xを増加させることによってバンドギャップが減少した場合には、Alの組成比yを増加す

ることによって、結晶性を低下させること無く上記電流拡散層のバンドギャップが高められる。こうすることによって、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光が上記電流拡散層でも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。さらに、GaP基板上に各層を順次形成するだけで形成でき、製造コストが低減される。

【0015】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記GaP基板の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜していることが望ましい。

【0016】上記構成によれば、上記GaP基板の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜しているため、成膜中において、結晶表面にはV族原子が拡散している(111)面が現れる。したがって、上記電流拡散層の結晶中にVI族の酸素が混入し難く、抵抗率が減少して駆動電圧が低減される。さらに、結晶表面には結晶成長し易い(111)面が現れるため、上記電流拡散層の平坦性が向上して結晶欠陥が低減される。

【0017】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記GaP基板の面方位を、(100)面から[011]方向に2度以上且つ20度以下の範囲で傾斜させることが望ましい。

【0018】上記構成によれば、上記電流拡散層の抵抗率減少と平坦性向上とが最も顕著に現れる。

【0019】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記電流拡散層のエネルギーギャップを、上記活性層のエネルギーギャップよりも大きくすることが望ましい。

【0020】上記構成によれば、上記電流拡散層の方が上記活性層よりもエネルギーギャップが大きいために、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光が、上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0021】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0022】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が550nmから680nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0023】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Alの組成比をxとして、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0024】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が700nmから880nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがな

く、発光効率が大幅に改善される。

【0025】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0026】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が700nmから1500nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0027】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Inの組成比をx、Asの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0028】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が900nmから1700nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0029】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Alの組成比をx、Asの組成比をyとして、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0030】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が850nmから1700nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0031】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成することが望ましい。

【0032】上記構成によれば、上記発光部からの発光波長が500nmから600nmである光が上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0033】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部と電流拡散層との間に電流阻止層を備えることが望ましい。

【0034】上記構成によれば、上記発光部と電流拡散層との間に設けられた電流阻止層によって、上記電流拡散層内における電流経路が制御される。

【0035】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層のエネルギーギャップを、上記活性層のエネルギーギャップよりも大きくすることが望ましい。

【0036】上記構成によれば、上記電流阻止層の方が上記活性層よりもエネルギーギャップが大きいために、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光が、上記GaP基板だけではなく上記電流阻止層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0037】また、上記第1の発明または第2の発明の

10

20

30

40

50

半導体発光素子は、上記電流阻止層を、上記発光部と電流拡散層との境界面における中央部に配置することが望ましい。

【0038】上記構成によれば、上記発光部と電流拡散層との境界面における中央部に上記電流阻止層が設けられている。そのために、上記電流拡散層内において電流経路が周辺部に広がることになり、上記活性層の広い範囲で発光が行われて発光効率が大幅に改善される。

【0039】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を、上記発光部と電流拡散層との境界面における周辺部に配置することが望ましい。

【0040】上記構成によれば、上記発光部と電流拡散層との境界面における周辺部に上記電流阻止層が設けられている。そのために、上記電流拡散層内において電流経路が中央部に集中することになり、発光の指向性が大幅に向上される。

【0041】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層をGaPによって形成することが望ましい。

【0042】上記構成によれば、上記電流阻止層としてGaPを用いているので、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流阻止層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0043】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を、Inの組成比をxとして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)によって形成することが望ましい。

【0044】上記構成によれば、上記電流阻止層としてInGaPを用いているので、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流阻止層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0045】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を、Inの組成比をx、Alの組成比をyとして、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 \leq y \leq 1$)によって形成することが望ましい。

【0046】上記構成によれば、上記電流阻止層としてInAlGaPを用いているので、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流阻止層にも吸収されることがなく、発光効率が大幅に改善される。

【0047】

【発明の実施の形態】以下、この発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

<第1実施の形態>図1は、本実施の形態の半導体発光素子としてのAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図1にしたがって、本実施の形態におけるAlGaInP系化合物半導体発光素子につ

いて説明する。

【0048】まず、n-GaP基板11上に、n-In_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)格子歪緩和層12(例えば、 $x = 0.3, y = 0.4$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を1.0 μmの膜厚で、n-In_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)クラッド層13(例えば、 $x = 0.5, y = 0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を1 μmの膜厚で、In_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)活性層14(例えば、 $x = 0.5, y = 0.15$)を0.5 μmの膜厚で、p-In_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)クラッド層15(例えば、 $x = 0.5, y = 0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を1.0 μmの膜厚で、p-In_xGa_{1-x}P ($0 < x < 1$)電流拡散層16(例えば、 $x = 0.01$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を5 μmの膜厚で順次積層成長する。次に、上記n-GaP基板11の下側に電極17を形成し、電流拡散層16上に電極18を形成する。こうして、AlGaInP系化合物発光ダイオードが完成する。

【0049】本実施の形態においては、上記電流拡散層16にp-In_xGa_{1-x}P層($x = 0.01$)を用いている。そして、図2には、In_xGa_{1-x}P層($0 < x < 0.5$)およびIn_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 < x < 0.5, y = 0.5$)層中におけるIn組成比xと結晶表面の凹凸深さとの関係を示している。図2から分るように、In組成比x = 0であるGaP層およびAl_{0.5}Ga_{0.5}P層においては、結晶表面の凹凸の深さが1000 Åと非常に大きい。これに対して、In組成比xが0ではなく僅かでもInが含まれていれば、結晶表面の凹凸の深さは大幅に減少し、In組成比x = 0.01程度で200 Å以下まで減少している。したがって、本AlGaInP系化合物発光ダイオードの最上層を構成する電流拡散層16を、In組成比xが0.01であるp-In_xGa_{1-x}P層で構成することによって、表面の凹凸深さを200 Å以下に低減できるのである。

【0050】また、図3には、In_xGa_{1-x}P層($0 < x < 0.5$)およびIn_xAl_yGa_{1-x-y}P ($0 < x < 0.5, y = 0.5$)層中におけるIn組成比xと結晶欠陥密度との関係を示している。図3から分るように、In組成比x = 0であるGaP層及びAl_{0.5}Ga_{0.5}P層においては、結晶欠陥密度が非常に多い。これに対して、In組成比xが0ではなく僅かでもInが含まれていれば、結晶欠陥密度は大幅に減少し、In組成比x = 0.01程度で500個/cm²以下まで減少している。したがって、本AlGaInP系化合物発光ダイオードの最上層を構成する電流拡散層16を、In組成比xが0.01であるp-In_xGa_{1-x}P層で構成することによって、結晶欠陥密度を500個/cm²以下に低減できるのである。

【0051】この2つの理由として、GaP層は、結晶中でGa原子とP原子の結合エネルギーが大きいためGa原子が成長面上を拡散(マイグレーション)し難く、良好

な層状成長ではなく島状成長となっている。したがって、結晶欠陥が発生し易い原因を備えている。それに対し、In原子はP原子の結合エネルギーが小さいため、In原子が成長面上を拡散(マイグレーション)し易く、良好な層状成長が得られる。これによって、結晶表面の凹凸の深さが大幅に低減し平坦性が向上すると共に、結晶欠陥密度も大幅に減少しているのである。

【0052】また、本実施の形態においては、上記 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($x=0.5, y=0.15$) 活性層14 ($E_g=1.9\text{eV}$) に対して、電流拡散層16として $\text{p-In}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($x=0.01$) ($E_g=2.26\text{eV}$) を用いているため、 $\text{p-In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 電流拡散層16の方がバンドギャップが大きく、上記 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層14で発光した発光波長 $550\text{nm} \sim 680\text{nm}$ の光は、 InAlGaP 系半導体素子放射光に対して透明な n-GaP 基板11および電流拡散層16で吸収されることなく取り出されるのである。

【0053】上述のように、本実施の形態においては、 InAlGaP 系半導体素子放射光に対して透明な n-GaP 基板11上に、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) によって格子歪緩和層12及びクラッド層13を形成した後に、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層14を形成する。そして、さらに、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層15および $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$) 電流拡散層16を形成している。このように、最上層をIn組成比 x が ($0 < x < 1$) である $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 電流拡散層16で構成することによって、結晶表面の凹凸の深さを大幅に低減し、結晶欠陥密度を大幅に減少することができる。

【0054】また、上記 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$) 電流拡散層16のIn組成比 x を「0.01」とすることによって、電流拡散層16のエネルギーギャップ ($E_g=2.26\text{eV}$) を、活性層14のエネルギーギャップ ($E_g=1.9\text{eV}$) よりも大きくできる。したがって、最下層の n-GaP 基板11と最上層の p-InGaP 電流拡散層16とを、 InAlGaP 活性層14からの放射光に対して透明にして、発光効率を高めることができるのである。

【0055】また、本実施の形態における AlGaInP 系化合物発光ダイオードは、上記 n-GaP 基板11上に、MOCVD法等によって格子歪緩和層12から電流拡散層16までを順次形成するだけで得ることができる。したがって、図10に示すような手順によって形成される従来の AlGaInP 系半導体発光素子の場合に比して製造コストを低減できる。

【0056】尚、以下、図1に示す構造を有する AlGaInP 系化合物半導体発光素子を、 n-GaP 基板上にではなく、次のごとく GaAs 基板上に形成した場合と比較してみる。

【0057】先ず、 n-GaAs 基板上に、 $\text{n-In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) バッファ層(例え

ば、 $x=0.3, y=0.4$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) クラッド層(例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) を $1 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層(例えば、 $x=0.5, y=0.2$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{p-In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層(例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{p-In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$) 電流拡散層(例えば、 $x=0.01$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、 n-GaAs 基板の下側に電極を形成し、電流拡散層上に電極を形成する。

【0058】このように、 AlGaInP 系化合物半導体発光素子を n-GaAs 基板上に形成した場合には、活性層とクラッド層とが n-GaAs 基板と格子整合するために、その上に成長した $\text{p-In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$) 電流拡散層の結晶性は比較的良好である。ところが、活性層で発光した光が、 AlGaInP 系半導体素子放射光に対して光吸収層となる n-GaAs 基板によって吸収されてしまうために、発光光度は大幅に減少してしまった。

【0059】尚、本実施の形態の AlGaInP 系化合物半導体発光素子における活性層の他の異なる材料系として、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) (発光波長 $700\text{nm} \sim 880\text{nm}$)、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 層 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) (発光波長 $700\text{nm} \sim 1500\text{nm}$)、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, P_{1-y} 層 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) (発光波長 $900\text{nm} \sim 1700\text{nm}$)、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, Sb_{1-y} 層 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) (発光波長 $850\text{nm} \sim 1700\text{nm}$)、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) (発光波長 $500\text{nm} \sim 600\text{nm}$) を用いた場合であっても、 GaP 基板および $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 電流拡散層に、上記活性層で発光した光が吸収されることはなく、十分な効果が得られた。

【0060】尚、本実施の形態において、全ての層の組成比 x, y を適宜変更しても、結晶表面の凹凸深さを大幅に低減し、結晶欠陥密度を大幅に減少し、活性層からの放射光に対して透明であって発光効率が高まるという効果は、十分に得ることができる。また、上記効果は、電極17, 18の形状、後に述べる電流阻止層の有無や形状、活性層14に対する量子井戸の形成等、構造上の差異に拘わらず得られることは言うまでもない。

【0061】<第2実施の形態>図4は、本実施の形態の半導体発光素子としての AlGaInP 系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図4にしたがって、本実施の形態における AlGaInP 系化合物半導体発光素子について説明する。第1実施の形態と異なる点は、電流拡散層に $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) を用いた点であり、他は、総て第1実施の形態の場合と同様である。

【0062】先ず、 n-GaP 基板21上に、 n-AlG

a InP 格子歪緩和層 22 (例えば、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $n\text{-In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 23 (例えば、 $x=1, 0, y=0.5$, Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層 24 (例えば、 $x=0.5, y=0.4$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 25 (例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Zn 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 電流拡散層 26 (例えば、 $x=0.2, y=0.2$) を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、 $n\text{-GaP}$ 基板 21 の下側に電極 27 を形成し、電流拡散層 26 上に電極 28 を形成する。こうして、AlGaInP 系化合物発光ダイオードが完成する。

【0063】本実施の形態においては、上記電流拡散層 26 として、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($x=0.2, y=0.2$) を用いている。ここで、図 2 および図 3 から分かるように、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 電流拡散層 26 の In 組成比 x が増加すると、結晶表面の凹凸の深さおよび結晶欠陥密度が低減する。ところが、一方において、バンドギャップが減少することになる。しかしながら、図 2 および図 3 から分るように、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 層における In 組成比 x に対する結晶表面の凹凸の深さおよび結晶欠陥密度の関係は、Al 組成比 y には何ら依存しない。

【0064】そこで、本実施の形態においては、上記 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 電流拡散層 26 の Al 組成比 y を増加することによって、結晶表面の凹凸の深さおよび結晶欠陥密度を変えことなく、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($x=0.5, y=0.2$) 活性層 24 のバンドギャップ ($E_g=2.0 \text{ eV}$) に対して電流拡散層 26 のバンドギャップ ($E_g=2.3 \text{ eV}$) の方を大きくするのである。こうすることによって、活性層 24 で発光した光は、GaP 基板 21 は元より電流拡散層 26 においても吸収されことなく、取り出すことができるのである。

【0065】<第3実施の形態>図 5 は、本実施の形態の半導体発光素子としての AlGaInP 系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図 5 にしたがって、本実施の形態における AlGaInP 系化合物半導体発光素子について説明する。第 2 実施の形態と異なる点は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 電流拡散層の組成比 x, y を変えた点であり、他は総て第 2 実施の形態の場合と同様である。

【0066】先ず、 $n\text{-GaP}$ 基板 31 上に、 $n\text{-AlGaInP}$ 格子歪緩和層 32 (例えば、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $n\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 33 (例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活

性層 34 (例えば、 $x=0.5, y=0.15$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 35 (例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Zn 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 電流拡散層 36 (例えば、 $x=0.2, y=0.5$) を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、 $n\text{-GaP}$ 基板 31 の下側に電極 37 を形成し、電流拡散層 36 上に電極 38 を形成する。こうして、AlGaInP 系化合物発光ダイオードが完成する。

【0067】本実施の形態においては、上記電流拡散層 36 として、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($x=0.2, y=0.5$) を用いている。ここで、上記 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 電流拡散層 36 の In 組成比 x が増加すると、図 2 および図 3 から分るように、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 層における In 組成比 x に対する結晶表面の凹凸の深さおよび結晶欠陥密度の関係は、Al 組成比 y には何ら依存しないため結晶表面の凹凸の深さ及び結晶欠陥密度は低減することになる。ところが、一方において、バンドギャップが減少することになる。そのために、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($x=0.5, y=0.15$) 活性層 34 のバンドギャップ ($E_g=1.9 \text{ eV}$) に対して電流拡散層 36 のバンドギャップが小さくなり、電流拡散層 36 で光の吸収が発生する。

【0068】しかしながら、本実施の形態のごとく、上記 Al 組成比 y を「0.5」に増加することによって、電流拡散層 36 バンドギャップ ($E_g=2.0 \text{ eV}$) の方が活性層 34 よりも大きくなり、活性層 34 で発光した光は、GaP 基板 31 および電流拡散層 36 の両方において吸収されことなく、取り出すことができるのである。

【0069】<第4実施の形態>図 6 は、本実施の形態の半導体発光素子としての AlGaInP 系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図 6 にしたがって、本実施の形態における AlGaInP 系化合物半導体発光素子について説明する。第 3 実施の形態と異なる点は、 $n\text{-GaP}$ 基板の面方位が (100) 面から [011] 方向に傾斜している点であり、他は総て第 3 実施の形態の場合と同様である。

【0070】先ず、面方位が (100) 面から [011] 方向に 15 度傾斜している $n\text{-GaP}$ 基板 41 上に、 $n\text{-AlGaInP}$ 格子歪緩和層 42 (例えば、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $n\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 43 (例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層 44 (例えば、 $x=0.5, y=0.2$) を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層 45 (例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Zn 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $p\text{-In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 電流拡

散層46(例えば、 $x=0.5$, $y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、 n -GaP基板41の下側に電極47を形成し、電流拡散層46上に電極48を形成する。こうして、AlGaInP系化合物発光ダイオードが完成する。

【0071】本実施の形態においては、第3実施の形態と同様に、上記電流拡散層46に p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($x=0.5$, $y=0.5$)を用いている。その場合、上記 n -GaAs基板41の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜しているため、電流拡散層46の抵抗値が低減されて、駆動電圧を低減することができるのである。

【0072】以下、この理由を、図7に従って説明する。図7は、III-V族の結晶表面を表現したモデル図である。図7(a)に示すように、(100)面においてはV族原子の2重結合が表面上にある。ところが、図7(b)に示すように、[011]方向に傾斜すると、III族原子の1重結合を有する結晶表面である(111)面がステップ状に現れる。この(111)面はIII族原子の1重結合によって表面が覆われているために、成膜中において、V族原子(本実施の形態の場合はP原子)が供給されて(111)面のIII族原子と結合することになる。ところが、この結合は1重結合であるために結合力が弱く、すぐに結合が切れてV族原子が表面上を拡散(マイグレーション)している状態なる。

【0073】一方において、上記 p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 層の抵抗率が高い理由の一つに、O(酸素)の混入がある。O(酸素)はVI族元素であるためV族サイトの格子位置に入り易い。ところが、本実施の形態においては、上述の理由によってV族原子が表面上を拡散(マイグレーション)しているため結晶表面上にV族原子が多く存在し、V族サイトの格子位置にO(酸素)が入り難くなる。その結果、電流拡散層46の抵抗率が減少するのである。

【0074】さらに、上記 n -GaP基板41の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜しているために、結晶表面には(111)面がステップ状に現れことになる。したがって、このステップ毎に層状成長し易い良好な結晶表面が形成されていることになる。そのために、結晶表面の凹凸の深さが大幅に低減して平坦性が向上するのである。

【0075】尚、本実施の形態においては、上記 n -GaP基板41の面方位における(100)面から[011]方向への傾斜角を「15度」にしている。しかしながら、この発明における上記傾斜角は上記角度に限定されるものではなく、2度以上且つ20度以下の範囲内であれば同様の効果を奏することができる。

【0076】また、本実施の形態においては、上記 n -GaP基板に対する面方位への傾斜付けを、電流拡散層として $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ を用いた第3実施の形態に適

用している。しかしながら、電流拡散層として $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ を用いる第1実施の形態に適用しても一向に差し支えない。

【0077】<第5実施の形態>図8は、本実施の形態の半導体発光素子としてのAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図8にしたがって、本実施の形態におけるAlGaInP系化合物半導体発光素子について説明する。第3実施の形態と異なる点は、クラッド層と電流拡散層との間の中央部に電流阻止層を設けている点であり、他は総て第3実施の形態の場合と同様である。

【0078】先ず、 n -GaP基板51上に、 n -AlGaInP格子歪緩和層52(例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 n - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)クラッド層53(例えば、 $x=0.5$, $y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)活性層54(例えば、 $x=0.38$, $y=0.2$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)クラッド層55(例えば、 $x=0.5$, $y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 n - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$, $0 \leq y \leq 1$)電流阻止層56(例えば、 $x=0.20$, $y=0.20$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1$, $0 \leq y \leq 1$)電流拡散層57(例えば、 $x=0.2$, $y=0.2$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、上記 n -GaP基板51の下側に電極58を形成し、電流拡散層57上に電極59を形成する。こうして、AlGaInP系化合物発光ダイオードが完成する。

【0079】ここで、上記 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ 電流阻止層56は、クラッド層55と電流拡散層57との境界面における中央部に配置する。さらに、電流拡散層57上の電極59も、電流拡散層57の上面における中央部に、電流阻止層56と重なるように配置するのである。

【0080】上述のように、本実施の形態においては、上記クラッド層55と電流拡散層57との間の中央部に電流阻止層56を設けている。したがって、この電流阻止層56の作用によって、電極59から注入された電流が電流拡散層57内でより広げられ、活性層54における広い範囲で発光が行われるために、光取り出し効率がさらに向上するのである。

【0081】尚、上記実施の形態においては、上記電流阻止層56として $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ を用いているが、GaPあるいは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ を用いても同様の効果を奏することができる。

【0082】<第6実施の形態>図9は、本実施の形態の半導体発光素子としてのAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。以下、図9にしたがって、本実施の形態におけるAlGaInP系化合物半導体

発光素子について説明する。第5実施の形態と異なる点は、クラッド層と電流拡散層との間の電流阻止層および上記電流拡散層上の電極が周辺部に設けられている点であり、他は総て第5実施の形態の場合と同様である。

【0083】まず、 n -GaP基板61上に、 n -AlGaInP格子歪緩和層62(例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 n - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)クラッド層63(例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)活性層64(例えば、 $x=0.5, y=0.2$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)クラッド層65(例えば、 $x=0.5, y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚で、 n - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 \leq y \leq 1$)電流阻止層66(例えば、 $x=0.01, y=0.01$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で、 p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 \leq y \leq 1$)電流拡散層67(例えば、 $x=0.2, y=0.2$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ の膜厚で順次積層成長する。次に、上記 n -GaP基板61の下側に電極68を形成し、電流拡散層67上に電極69を形成する。こうして、AlGaInP系化合物発光ダイオードが完成する。

【0084】本実施の形態においては、上記クラッド層65と電流拡散層67との間における周辺部に電流阻止層66を設けている。したがって、この電流阻止層66の作用によって、電極69から注入された電流が電流拡散層67内で中央部に集中し、発光の指向性が向上するのである。

【0085】尚、上記実施の形態においては、上記電流阻止層66として $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ を用いているが、GaPあるいは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ を用いても同様の効果を奏することができる。

【0086】もちろん、上記第5、第6実施の形態の場合においても、上記第4実施の形態の場合と同様に、 n -GaP基板61の面方位を(100)面から[011]方向に傾斜させても同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0087】

【発明の効果】以上より明らかなように、第1の発明の半導体発光素子は、最上層の電流拡散層を、 In 組成比 x が($0 < x < 1$)である $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ で形成したので、結晶表面の凹凸深さを大幅に低減し、結晶欠陥密度を大幅に減少して、結晶性の良好な電流拡散層を得ることができる。さらに、上記電流拡散層として $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ を用いているので、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。さらに、GaP基板上に各層を順次形成するだけで形成でき、製

造コストを低減できる。

【0088】また、第2の発明の半導体発光素子は、最上層の電流拡散層を、 In 組成比 x が($0 < x < 1$)である $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ で形成したので、結晶表面の凹凸深さを大幅に低減し、結晶欠陥密度を大幅に減少して、結晶性の良好な電流拡散層を得ることができる。さらに、Alの組成比 y を増加することによって、結晶性を低下させることなく上記電流拡散層のバンドギャップを高めることができ、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。さらに、GaP基板上に各層を順次形成するだけで形成でき、製造コストを低減できる。

【0089】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記GaP基板の面方位を(100)面から[011]方向に傾斜させれば、成膜中において、結晶表面にはV族原子が拡散している(111)面が現れて、上記電流拡散層の結晶中にVI族の酸素が混入し難くなる。したがって、抵抗率が減少して、駆動電圧を低減できる。さらに、結晶表面には結晶成長し易い(111)面が現れるため、上記電流拡散層の平坦性を向上させて結晶欠陥を低減することができる。

【0090】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記GaP基板の面方位を、(100)面から[011]方向に2度以上且つ20度以下の範囲で傾斜させれば、上記電流拡散層の抵抗率減少と平坦性向上との効果を最も顕著に奏することができる。

【0091】また、上記第1の発明あるいは第2の発明の半導体発光素子は、上記電流拡散層のエネルギーギャップを上記活性層よりも大きくすれば、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光が、上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0092】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成すれば、上記発光部からの発光波長が550nmから680nmである光が、上記GaP基板だけではなく電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0093】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$)で形成すれば、上記発光部からの発光波長が700nmから880nmである光が、上記GaP基板だけではなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0094】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成すれば、上記発光部か

らの発光波長が700nmから1500nmである光が、上記GaP基板だけでなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0095】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成すれば、上記発光部からの発光波長が900nmから1700nmである光が、上記GaP基板だけでなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0096】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成すれば、上記発光部からの発光波長が850nmから1700nmである光が、上記GaP基板だけでなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0097】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部を、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)で形成すれば、上記発光部からの発光波長が500nmから600nmの光が、上記GaP基板だけでなく上記電流拡散層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0098】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記発光部と電流拡散層との間に電流阻止層を備えれば、上記電流拡散層内における電流径路を上記電流阻止層によって制御することができる。

【0099】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層のエネルギーギャップを上記活性層のエネルギーギャップよりも大きくすれば、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光が上記GaP基板だけでなく上記電流阻止層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0100】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を、上記発光部と電流拡散層との境界面における中央部に配置すれば、上記電流拡散層内において電流径路を周辺部に広げることができる。したがって、上記活性層における広い範囲で発光を行って発光効率を大幅に改善することができる。

【0101】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を、上記発光部と電流拡散層との境界面における周辺部に配置すれば、上記電流拡散層内において電流径路を中央部に集中することができ、発光の指向性を大幅に向上することができる。

【0102】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層をGaPによって形成すれば、活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけでなく

上記電流阻止層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0103】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)によって形成すれば、活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけでなく上記電流阻止層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【0104】また、上記第1の発明または第2の発明の半導体発光素子は、上記電流阻止層を $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 < x < 1, 0 \leq y \leq 1$)によって形成すれば、上記活性層がAlGaInP系半導体である場合には、上記活性層で発光した光がGaP基板だけでなく上記電流阻止層にも吸収されないようにして、発光効率を大幅に改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の半導体発光素子としてのAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図2】 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ 層および $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 層中におけるIn組成比xと結晶表面の凹凸深さとの関係を示す図である。

【図3】 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ 層および $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 層中におけるIn組成比xと結晶欠陥密度との関係を示す図である。

【図4】 図1とは異なるAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図5】 図1および図4とは異なるAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図6】 図1、図4および図5とは異なるAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図7】 III-V族の結晶表面を表現したモデル図である。

【図8】 図1および図4～図6とは異なるAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図9】 図1、図4～図6および図8とは異なるAlGaInP系化合物半導体発光素子における断面図である。

【図10】 GaP基板上に形成された従来のAlGaInP系半導体発光素子の製造手順の説明図である。

【符号の説明】

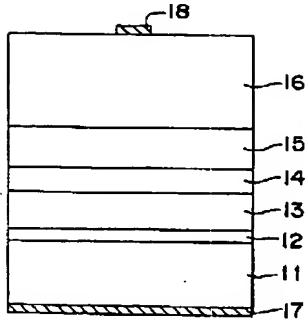
11, 21, 31, 41, 51, 61...n - GaP基板、
12...n - $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 格子歪緩和層、
13, 23, 33, 43, 53, 63...n - $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ クラッド層、
14, 24, 34, 44, 54, 64...p - $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ 活性層、
15, 25, 35, 45, 55, 65...p - $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ クラッド層、
16...p - $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ 電流拡散層、
17, 18, 27, 28, 37, 38, 47, 48, 58, 59, 68, 69...電極、

22, 32, 42, 52, 62...n - AlGaInP 格子歪緩和層、
26, 36, 46, 57, 67...p - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ P電*

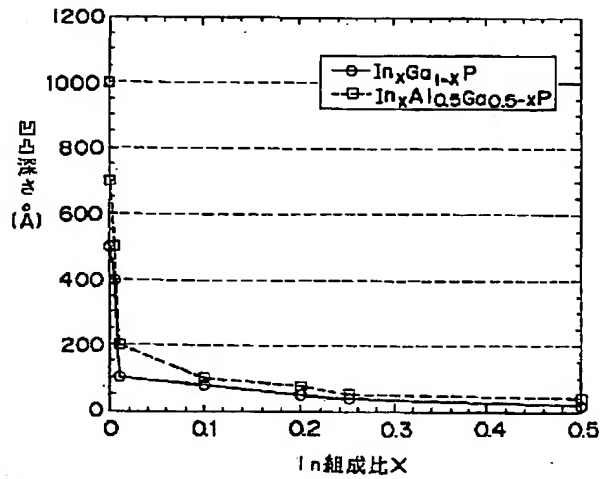
* 流拡散層、

56, 66...n - $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ P電流阻止層。

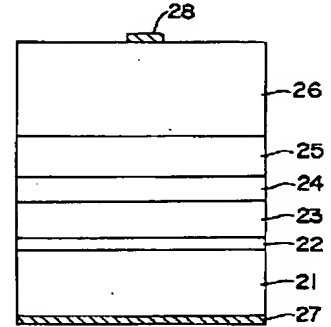
【図1】



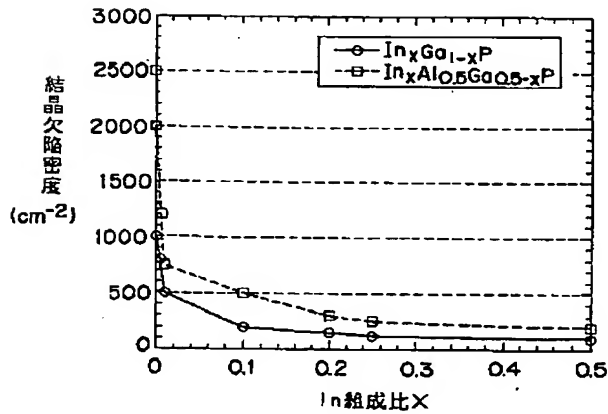
【図2】



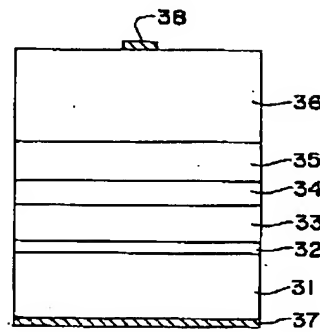
【図4】



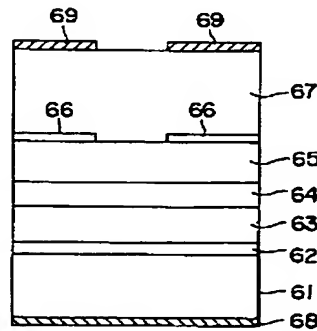
【図3】



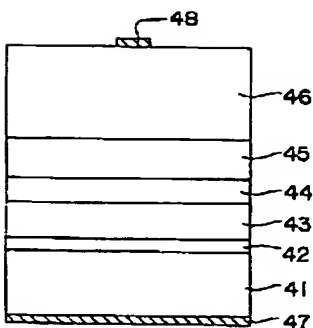
【図5】



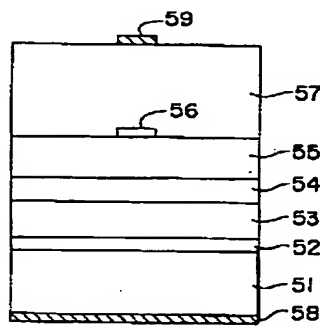
【図9】



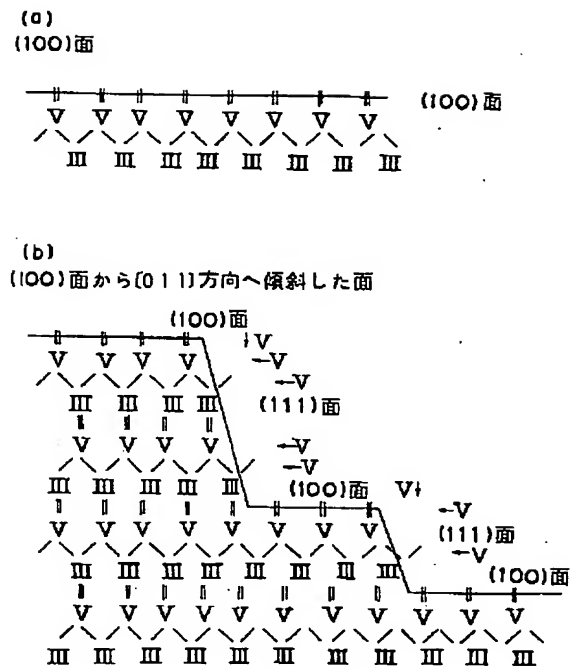
【図6】



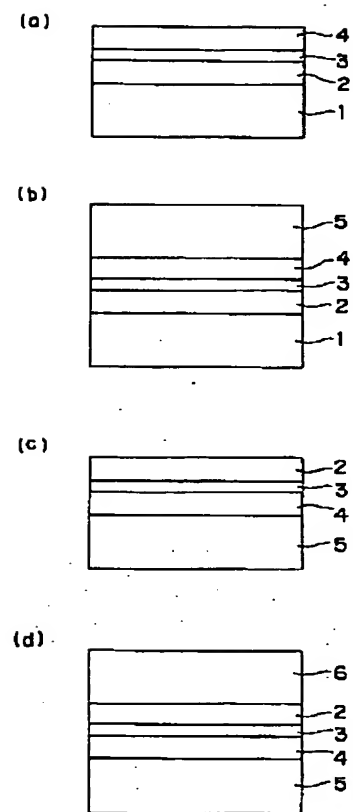
【図8】



【図7】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 倉橋 孝尚
大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72)発明者 村上 哲朗
大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA34 CA35
CA36 CA37 CA39